

## Die Geschichte des alpinen Raumes, erarbeitet mit radiometrischen Altersbestimmungen

VON E. JÄGER \*)

Schlüsselwörter

Alpen

Radiometrische Altersbestimmungen

Das älteste Ereignis im alpinen Raum wird mit U-Pb Isotopenbestimmungen an Paragneis-Zirkonen datiert. Primäre Zirkonalterswerte von mindestens 1500 Millionen Jahren wurden in der Silvretta und im Gotthardmassiv gefunden (PASTEELS, 1964; GRAUERT & ARNOLD, 1968), ebenso im Ceneri-Gneis der Südalpen (PIDGEON et al., 1970). Diese Alterswerte deuten auf präkambrische Zirkonbildung, d. h. auf eine präkambrische Kruste, von der diese Zirkone erodiert wurden. Für die radiometrische Altersbestimmung sind Paragneis-Zirkone bisher im alpinen Raum die einzigen Zeugen präkambrischer Gesteinsbildung, ein Rückschluß auf Ausdehnung und Beschaffenheit dieser präkambrischen Kruste ist mit den wenigen Daten nicht möglich, ebensowenig der Nachweis, wo sich diese Kruste befunden hat.

Das Sedimentationsalter der Paragneise, die diese alten Zirkone enthalten, wurde bisher im alpinen Raum nur am Silvretta Paragneis von Plattas (GRAUERT, 1969) bestimmt; GRAUERT fand einen Alterswert von ungefähr 500 M. J. Dieser Wert bildet sicher keine Ausnahme, die Sedimentation ist wohl ganz allgemein viel jünger als der alte Kontinent, von dem die Zirkone eingeschwemmt worden waren. Eine echte präkambrische Kruste scheint in Mitteleuropa nur noch selten erhalten zu sein, die Geschichte beginnt meist mit einer jungpräkambrischen bis paläozoischen Sedimentation, die bald von intensiven magmatischen Ereignissen gefolgt wird.

Die Altersbestimmung magmatischer Gesteine erfaßt mit der Rb-Sr-Methode an Gesamtgesteinsproben jedoch nur saure, alkalireiche Gesteine; basische Magmatite können nur selten exakt datiert werden. Die ältesten sauren Magmatite finden sich heute in Form von Orthogneisen; sie sind häufig grobkörnig, oft finden sie sich als grobkörnige Augengneise. An diesen Gesteinen wurden Alterswerte von 415—460 M. J. gefunden: Flüela-Granitgneis der Silvretta (GRAUERT, 1969), Orthogneise der Ötztalkristallins (SCHMIDT et al., 1967; HARRE et al., 1968); Streifengneise des Gotthardmassivs, ARNOLD, 1970; hierher gehört altersmäßig auch der Seebacher Granit.

\*) Adresse der Verfasserin: Prof. Dr. E. JÄGER, Mineralogisch-petrographisches Institut der Universität Bern, CH-3000 Bern, Sahlstraße 6.

An einem jüngeren Orthogneis der Silvretta mit einem Rb-Sr-Gesamtgesteinsalter von 350 M. J. wurden Muskowitalter von 300 M. J. gefunden. Die 350 M. J. bedeuten die chemische Bildung des Magmenkörpers, die 300 M. J. das Ende der variszischen Metamorphose, genauer das Ende der Metamorphose, bei der dieses Gestein vergneist wurde. Damit kann hier das Maximal- und Minimalalter der variszischen Metamorphose recht eng festgelegt werden. Analoge Verhältnisse finden wir im Ötztal, obwohl man hier die Obergrenze für das Alter der Metamorphose weniger präzise angeben kann: sie muß jünger sein als das Rb-Sr-Gesamtgesteinsalter des Granitgneises von Vent und älter als die Glimmeralter, d. h. älter als 270 bis 300 M. J. Damit besteht kein Zweifel, daß die strukturbestimmende Metamorphose, die zum Schlingenbau geführt hat, variszisch ist. Eine ältere Metamorphose mag durchaus in Relikten, z. B. in den Eklogiten, noch erhalten sein. Sie wurde im Ötztalkristallin bisher nicht mit Altersbestimmungen erfaßt, im Gotthardmassiv, in der Silvretta und im Ceneri-Gneis deutet die Verjüngung alter Zirkone jedoch auf eine sehr intensive Aufwärmung im Altersbereich 400—500 M. J., siehe GRAUERT & ARNOLD, 1968, und PIDGEON et al., 1970.

Nach der variszischen Metamorphose oder fast gleichzeitig mit ihr findet man zahlreiche Granite mit Alterswerten von 300 M. J. und 270 M. J. Selbst in den alpin hochmetamorphen penninischen Gneisen der Zentralalpen blieben diese voralpinen Werte erhalten, was darauf schließen läßt, daß in den untersuchten Gebieten die alpine Metamorphose weitgehend isochemisch verlaufen ist. Die Granitbildung um 300 und 270 M. J. ist recht häufig in den Zentralmassiven, in den Südalpen, z. B. Baveno-Granit, und wie oben bereits erwähnt in den Tessiner Gneisen des Penninikums. Im Monte Rosa beschreibt HUNZIKER, 1970, auch eine Metamorphose mit einem Alterswert von 260 M. J., also eine permische Metamorphose.

Im Penninikum der Zentralalpen und im Tauern Fenster, LAMBERT, 1964, JÄGER et al., 1969, wurden permische Rb-Sr-Gesamtgesteinsalter von 240 M. J. gefunden. Im Penninikum finden sich wohl viele permische Quarzporphyre, die von der alpinen Metamorphose zum Tauern-Zentralgneis oder zum Tessiner Gneis umgeprägt wurden.

Die Bildung der alpinen Geosynklinale wurde bisher mit Altersbestimmungen nicht datiert, wohl aber einige Ophiolithe mit Alterswerten von 100—120 M. J., siehe DIETRICH, 1969.

Es steht heute fest, daß die alpine Metamorphose mehrphasig war. Mit der Bildung der Ophiolithe müssen bereits intensive Bewegungen verknüpft gewesen sein, sie sind jedoch mit Altersbestimmungen schwierig zu erfassen. Auch die ältere Metamorphose ist schwierig zu datieren, besonders dort, wo die jüngere Phase sehr intensiv ist, wie im Penninikum der Zentralalpen. So verlagert sich unser Interesse jetzt mehr auf die Westalpen und Ostalpen, wo die ältere Metamorphose noch gut erhalten ist. Von besonderem Interesse wird die Datierung der Alkali-Hornblende aus dem Sandstein der Walserberg-Serie, den ich mit Frau Dr. WOLETZ und Herrn Dr. PLÖCHINGER mit Unterstützung der Geologischen Bundesanstalt Wien sammeln konnte.

Die zahlreichen Alterswerte um 100 M. J. in der Arbeit von FLÜGEL, 1964, deuten darauf hin, daß dieses frühalpines Ereignis in den Ostalpen weit verbreitet ist, auch wenn die Messungen im einzelnen heute mit modernen Methoden wiederholt werden sollten. Sicher nachgewiesen sind in den Ostalpen Alterswerte um 80 M. J. im SE und W des Tauern Fensters, OXBURGH et al., 1966, SCHMIDT et al., 1967, MILLER et al., 1967. Damit wurde im Altkristallin im SE des Tauern Fensters und im Schneebergzug eindeutig eine kretazische Phase der alpinen Metamorphose nachgewiesen, die in schwächerem Maße auch das Ötztalkristallin erfaßt. Wenn sich die Alterswerte um 100 M. J. von FLÜGEL bestätigen, wird diese Phase wohl zur Hauptphase in den Ostalpen, was von den Ostalpengeologen durchaus bestätigt wird. Die regionale Verbreitung dieser Alterswerte wäre damit enorm, vom Semmering zum Seebacher Granit (unpublizierte Messung der Autorin) und von Birkfeld zum E-Rand des Tauern Fensters. Es scheint nun so, als ließe sich diese frühalpene Metamorphose auch in die Schweizer Alpen hinein verfolgen, in das Gebiet um die Maloja.

In dieser frühalpinen Phase kommt es bereits zur Neubildung von Biotit und Phengit, es handelt sich wohl weitgehend um eine druckbetonte Metamorphose (Phengit), was auf vorhergehenden Zusammenschub hinweist.

Die jüngere Phase der alpinen Metamorphose konnte in den Zentralalpen mit 35—38 M. J. datiert werden (HUNZIKER, 1969; JÄGER et al., 1967). Im Tauern Fenster ist eine genaue Datierung der Metamorphose nicht gelungen, Abkühlalter an Biotit und Phengit deuten jedoch auf ein Metamorphosealter wie in den Zentralalpen hin. Die jüngere Phase der alpinen Metamorphose ist ebenfalls druckbetont. CLARK und JÄGER ermittelten aus einer Kombination von Wärme flußdaten, Altersbestimmungen und jungalpinen Mineralzonen für diese Phase der alpinen Metamorphose im Tiefenbereich 0—10 km einen unteren mittleren Thermogradient von 20—25° C/km, der höchstmögliche Thermogradient ist in diesem Tiefenbereich 40° C/km. Diese Werte sind niedriger als sie für einen Wärmedom, wie ihn WENK z. B. in JÄGER et al., 1967, postuliert, angenommen werden müssen, sie sind aber wesentlich höher als die von ZWART angenommenen Werte von 10—17,5° C/km. Selbst unter Annahme des höchsten Thermogradienten ergibt sich für die Überlagerung im höchsten Metamorphosebereich des zentralalpinen Penninikums eine minimale Überlagerung von 15 km.

Ein Vergleich zwischen beiden Phasen der alpinen Metamorphose ist bis jetzt nicht gut möglich, die Mineralparagenesen für die frühe Phase sind noch nicht hinreichend bekannt, es ist auch nicht möglich, aus rezenten Wärme flußdaten auf diese frühe Phase zurückzuschließen, innerhalb von 80 M. J. sind Temperaturunterschiede in der oberen Kruste ausgeglichen. Wir müssen jedoch annehmen, daß bei der jüngeren Phase der alpinen Metamorphose schon ein bestimmter Zusammenschub mit Temperaturengleich gegeben war, sonst wäre die geringe Zeitspanne zwischen geologisch beobachteter Metamorphose und Wärmekulmination, wie sie mit Rb-Sr-Altersbestimmungen an Phengiten und Muskowiten aus Gebieten mit relativ niederem Metamorphosegrad datiert wird, nicht möglich, siehe HUNZIKER, 1969; TRÜMPY, 1971.

Die Abkühlung und Hebung des Alpenkörpers erfolgte für Ost- und Zentralalpen recht verschieden: in den Zentralalpen deuten recht unterschiedliche Rb-Sr-

Alter an Biotiten auf verschiedene Abkühlzeit auf 300° C, d. h. auf verschiedene Heraushebungen innerhalb kurzer Distanz, also auf große Krustenverbiegung bis zum Bruch, z. B. der Simplon-Centovilli-Störung, HUNZIKER, 1970. Die Heraushebung der Tauern scheint viel gleichmäßiger gewesen zu sein, man findet durchwegs Rb-Sr-Alter an Biotiten um 20 M. J., nur in der SE-Ecke bei Koschach zeichnet sich eine junge Heraushebung mit Rb-Sr-Altern an Biotit von 14 M. J. ab. Mit Ausnahme der SE-Ecke wurden die Tauern als Block herausgehoben, während in den Zentralalpen die unterschiedliche Hebung zur Tessiner Kulmination führte, mit sehr hoher Abkühlgeschwindigkeit im tektonisch tiefsten Punkt von Verampio.

Für wertvolle Diskussionen danke ich den Herren Professoren E. NIGGLI, E. WENK und R. TRÜMPY, sowie meinen Mitarbeitern Dr. HUNZIKER und Doktor ARNOLD; Herrn BRUNNER danke ich für wertvolle Hilfe im Labor. Der Schweizerische Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung finanzierte die experimentellen Arbeiten.

#### Literatur

- ARNOLD, A. (1970): The History of the Gotthard Massif (Central Alps), Switzerland. — *Eclogae Geol. Helv.* 63, 29.
- CLARK, S. P., jr., & JÄGER, E. (1969): Denudation rate in the Alps from Geochronologic and Heat Flow Data. — *Am. Journ. Sc.*, Vol. 267, 1143.
- DIETRICH, V. (1969): Die Ophiolithe des Oberhalbsteins (Graubünden) und das Ophiolithmaterial der ostschweizerischen Molasseablagerungen, ein petrographischer Vergleich; Europäische Hochschulschriften, Ser. XVIII; Diss. ETH Zürich.
- FLÜGEL, H. (1964): Versuch einer geologischen Interpretation einiger absoluter Altersbestimmungen aus dem ostalpinen Kristallin. — *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.* 10, 613.
- GRAUBERT, B. (1969): Die Entwicklungsgeschichte des Silvretta-Kristallins auf Grund radiometrischer Altersbestimmungen; Diss. Univ. Bern.
- GRAUBERT, B., & ARNOLD, A. (1968): Deutung diskordanter Zirkonalter der Silvrettadecke und des Gotthardmassivs (Schweizer Alpen). — *Contr. Min. Petr.*, 20, 34.
- HARRE, W., KREUZER, H., LENZ, H., MÜLLER, P., WENDT, I., & SCHMIDT, K. (1968): Rb-Sr- und K-Ar-Altersbestimmungen an Gesteinen des Ötztalkristallins (Ostalpen). — *Geol. Jb.* 86, 797.
- HUNZIKER, J. C. (1969): Rb-Sr-Altersbestimmungen aus den Walliser Alpen Hellglimmer- und Gesamtgesteinsalterswerte. — *Eclogae Geol. Helv.*, 62, 527.
- HUNZIKER, J. C. (1970): Polymetamorphism in the Monte Rosa, Western Alps. — *Eclogae Geol. Helv.*, 63, 151.
- JÄGER, E., NIGGLI, E., & WENK, E. (1967): Rb-Sr-Altersbestimmungen an Glimmern der Zentralalpen. — *Beitr. Geol. Karte der Schweiz, NF, Liefg.* 134.
- JÄGER, E., KARL, F., & SCHMIDEGG, O. (1969): Rubidium-Strontium-Altersbestimmungen an Biotit-Muskovit-Granitgneisen (Typus Augen- und Flasergneise) aus dem nördlichen Groß-Venedigerbereich (Hohe Tauern). — *Tscherm. Min. Petr. Mitt.*, 13, 251.
- LAMBERT, R. ST. J. (1964): Absolute Altersbestimmungen an Gneisen aus dem Tauernfenster. — *Verh. Geol. B.-A. Wien, Jg.* 1964, 16.
- MILLER, D. S., JÄGER, E., & SCHMIDT, K. (1967): Rb-Sr-Altersbestimmungen an Biotiten der Raibler Schichten des Brenner Mesozoikums und am Muskovitgranitgneis von Vent (Ötztaler Alpen). — *Eclogae Geol. Helv.*, 60, 537.
- OXBURGH, E. R., LAMBERT, R. ST. J., BAADSGAARD, H. B., SIMONS, J. G. (1966): Potassium-Argon Age Studies Across the Southeast Margin of the Tauern Window, the Eastern Alps. — *Verh. Geol. B.-A. Wien, Jg.* 1966, 17.
- PASTEELS, P. (1964): Mesures d'âges sur les zircons de quelques roches des Alpes. — *Schweiz. Min. Petr. Mitt.*, 44, 519.

- PIDGEON, R. T., KÖPFEL, V., & GRÜNENFELDER, M. (1970): U-Pb Isotopic Relationships in Zircon Suites from a Para- and Ortho-Gneiss from the Ceneri Zone, Southern Switzerland. — *Contr. Min. Petr.*, 26, 1.
- SCHMIDT, K., JÄGER, E., GRÜNENFELDER, M., & GRÖGLER, N. (1967): Rb-Sr- und U-Pb-Altersbestimmungen an Proben des Ötztalkristallins und des Schneeberger Zuges. — *Eclogae Geol. Helv.*, 60, 529.
- TRÜMPY, R. (1971, in Druck): The Timing of Orogenic Events in the Central Alps.
- ZWART, H. J. (1967): The Duality of Orogenic Belts. — *Geol. en Mijnbouw*, 46, 283.